

Aperture 問題に対する知覚認識計測と脳内活動部位の推定

Recognition of Perceptual Grouping and Localization of Brain Activity in Aperture Problems

林 勲
Isao Hayashi
関西大学
Kansai University

豊島 恒
Hisashi Toyoshima
北海学園大学
Hokkai Gakuen University

山ノ井 高洋
Takahiro Yamanoi
北海学園大学
Hokkai Gakuen University

Abstract Aperture problem is an experiment for analyzing the early motion processing in the visual pathway. Nishina argues the perception depends on the display time and discuss the processing of visual computation tasks. In this paper, we measure various perceptual rates in the same experiments, and discuss the dependency between the perception and the moving speed of stimulus lines. We also simultaneously record Electroencephalograms (EEG) of subjects who are recognizing the perception, and then estimate the source and the latencies in the brain.

1. はじめに

視覚構造を解析する実験の一つに Aperture 実験 [1] がある。コンピュータディスプレイ上に円形の小窓が現れる。その円内を線分が左下から右上方位に移動し、新たな 2 つの円が小窓の両側に表示され、両円内の別の線分が鉛直上方に移動する。3 つの直線が連続していると知覚された場合には、小窓円内の線分の移動方位が鉛直上方に変更されたように知覚される。仁科ら [2] は視覚実験から、知覚は円半径と端点間距離に依存し、線分の呈示時間が長ければ長いほど認識されやすいことを示した。著者ら [3, 4] は線分速度を変化させ、呈示速度が遅い場合の知覚認識率について議論した。

本論文では、仁科らの実験環境に基づいて、線分速度と知覚認識率との関係について検証する。同時に、脳波 (EEG: Electroencephalograms) 検査実験により、脳内の知覚反応の活動部位を推定する [5, 6]。まず実験システムでの各種パラメータを変化させ、開発した計測プログラムを用いて端点間距離あるいは半径、線分速度を変化させた場合の呈示時間の変化に対する知覚認識率を測定して線分速度依存性を検証する。次に、EEG 解析用のソフトウェア [7] により、端点間距離、半径、線分速度を変化させた場合の視覚誘発電位 (VEP) の振幅変化から脳内活動部位を推定し、背側経路と腹側経路における推定部位と知覚との関係について議論する。最後に、本実験で得られた検証結果について考察する。

2. Aperture 実験の概要

Aperture 実験の概要を図 1 と図 2 に示す。被験者は顎乗せ台で固定され、解像度が 1280×960 pixels のディスプレイとの間で 1.0m の距離を保つ。ここでの知覚認識とは、図 2 において、中央円の線分移動が両端円の線分移動方位に変更されると検知する事象である。知覚認識率算出の実験では、被験者は 18~22 歳の 10 名とし、開発した計測プログラムにより知覚認識の回答を得

て、知覚認識率を算出した。脳波検査の実験では、1 名の被験者に対し、開発した計測プログラムと解析用ソフトウェアにより、脳内活動部位を推定した。

実験の時間的経緯を図 3 に示す。(a) 注視点と中心円が表示され、(b) 円内の線分が移動を開始する。その後、(c) 刺激円が表示され、円内の線分が移動する。(d) 刺激円が消失し、注視点と中心円のみが残る。(e) 被験者は線分の移動終了後、知覚認識の回答を行う。(f) 同条件にて、EEG 検査実験により脳波を測定する。



Fig. 1: Experimental Equipment and Subject

以下に、本実験の概要を示す。

- 実験 1: 線分速度: 14.28mm/sec, 円半径: 8.7mm として、端点間距離: 40.4, 80.8, 121.2, 161.6mm および、呈示時間: 100, 200, 300, 400, 500, 600msec を変化させた場合の知覚認識率を算出する。
- 実験 2: 線分速度: 14.28mm/sec, 端点間距離: 121.2mm として、円半径: 8.7, 11.4, 14.3, 17.1mm および、呈示時間を変化させた場合の知覚認識率を算出する。ただし、呈示時間は実験 1 と同じとする。
- 実験 3: 端点間距離: 80.8mm, 円半径: 8.7mm として、移動距離: 5.7, 7.1, 14.3mm および、呈示時間: 100,

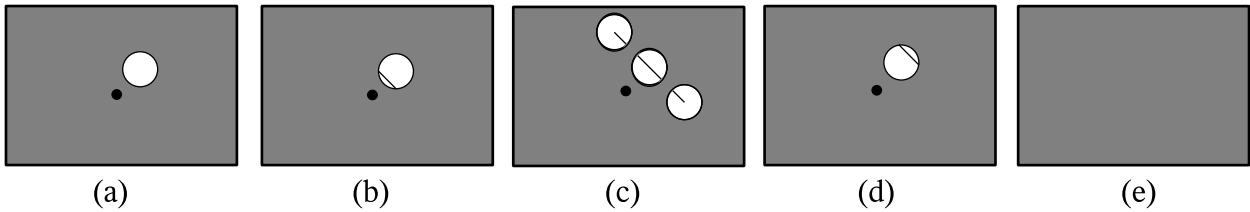


Fig. 3: Process of Aperture Experiment

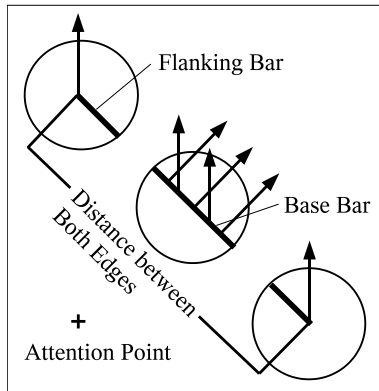


Fig. 2: Aperture Problem

200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200msec
を变化させた場合の知覚認識率を算出する。

実験 4: 線分速度: 14.28mm/sec, 円半径: 8.7mm, 呈示時間: 500msec として, 端点間距離: 28.6, 57.2, 85.7mm を变化させた場合の脳内活動部位を EEG 検査実験により推定する。

実験 5: 線分速度: 14.28mm/sec, 端点間距離: 85.7mm, 呈示時間: 500msec として, 円半径: 8.7, 11.5, 14.3mm を变化させた場合の脳内活動部位を EEG 検査実験により推定する。

実験 6: 端点間距離: 57.1mm, 円半径: 11.4mm, 呈示時間: 500msec として, 線分速度: 2.9, 5.7mm/sec を变化させた場合の脳内活動部位を EEG 検査実験により推定する。

実験 7: 端点間距離: 57.1mm, 円半径: 11.4mm, 呈示時間: 500msec, 線分速度: 14.28mm/sec として, 背側経路と腹側経路における活動部位を EEG 検査実験により推定する。

なお, 知覚認識率の 1~3 の実験では, 基本線分の角度を 90° とし, 刺激線分の移動方位を $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ として, 知覚認識率は 5 回の繰り返しによる全被験者の全回答 150 個の平均値として得た。また, 脳内活動部位推定の 4~7 の実験では, 3 種類の刺激線分の移動方位と線分が出現しない場合の合計 4 種類の線分移動方位を乱数的に発生させ, 60 回の試行実験により活動部位を推定した。

3. 知覚認識率による検証

実験 1~3 の結果を図 4~図 6 に示す。図 4 は線分速度を一定にして端点間距離と呈示時間を变化させた場合の知覚認識率である。図 5 は, 線分速度を一定にして円半径と呈示時間を变化させた場合の知覚認識率である。また, 図 6 は 3 種類の移動距離に対して線分速度を变化させた場合の知覚認識率を示す。

図 4 および図 5 において, 端点間距離や半径の大きさに依存して知覚認識率が増減していることがわかる。また, 呈示時間の長さにも依存してほぼ線形性を示している。

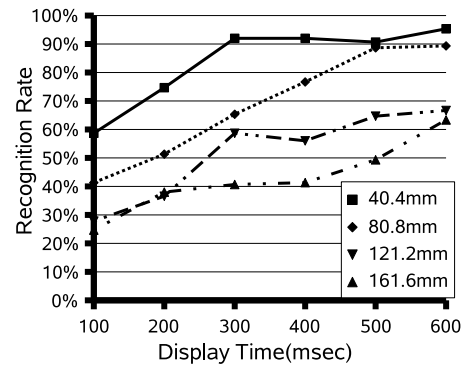


Fig. 4: R.R. for Changing Distance between Both Edges

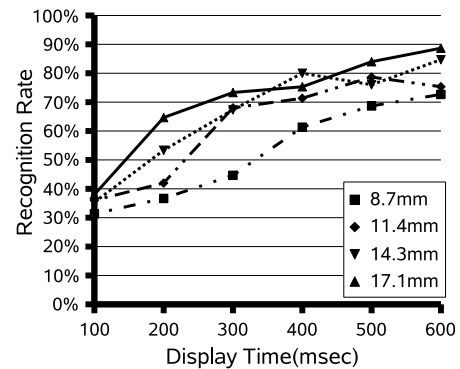


Fig. 5: R.R. for Changing Radius

一方, 図 6 では, 線分速度の減少に対して知覚認識率の減少は線形的になっていない。この非線形性を確認す

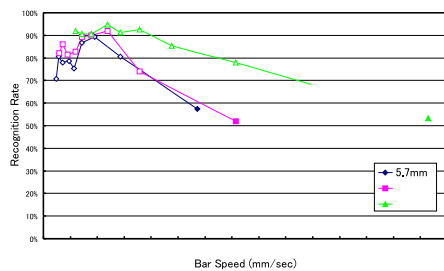


Fig. 6: R.R. for changing Display Speed

るために傾向検定を行った．移動距離が 5.7mm の場合には，2 次関数，3 次関数，4 次関数に対する傾向性に有意が見られた．これらの結果より，知覚認識率は，線分速度に対して線形性以外の傾向性が現れるといえる．

4. 脳活動推定部位による検証

ここでは，実験 4～7 の結果について検証した．まず，実験 4 では，すべての条件で視覚刺激の変化に伴う視覚誘発電位の振幅の変化がみられた．特に，推定される潜時 340ms 以後では，基本線分の呈示に伴って刺激線分の移動方位が 45° 以外の方角で視覚誘発電位の振幅に変化がみられた．また，刺激線分移動方位が水平 (0°) 及び垂直 (90°) において，下前頭回 (1,160ms ~ 1,170ms) と中前頭回 (1,230ms ~ 1,250ms) で推定される潜時に偏りが見られた．刺激線分の移動方位が水平と垂直の場合の中前頭回での脳内活動部位の推定結果を図 7 に示す．一方，斜め方位 (45°) では，推定される潜時での偏りは見られなかった．これらの結果から，刺激線分の水平と垂直方位では，空間認知に差異を生じるので，より活発な視覚誘発電位が空間認知に関わる下前頭回と中前頭回に見られたと考えられる．

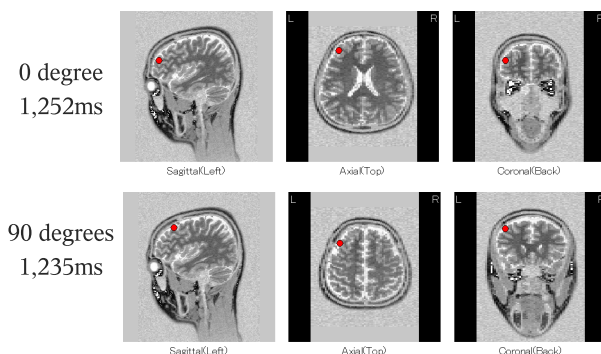


Fig. 7: Estimation in Middle Frontal Gyrus

次に，実験 5 では，すべての条件で視覚刺激の変化に伴う視覚誘発電位の振幅の変化がみられた．刺激線分移動方位が水平 (0°) 及び垂直 (90°) において，上前頭回 (1,640ms ~ 1,650ms) と中前頭回 (2,040ms ~ 2,050ms) で推定される潜時に偏りが見られた．刺激線分の移動方位が水平と垂直の場合の上前頭回での脳内活動部位の推定結果を図 8 に示す．一方，斜め方位 (45°) では，推定される潜時での偏りは見られなかった．これらの結果から，刺激線分の水平と垂直方位では，空間認知に差異を

生じるので，より活発な視覚誘発電位が空間認知に関わる上前頭回と中前頭回に見られたと考えられる．

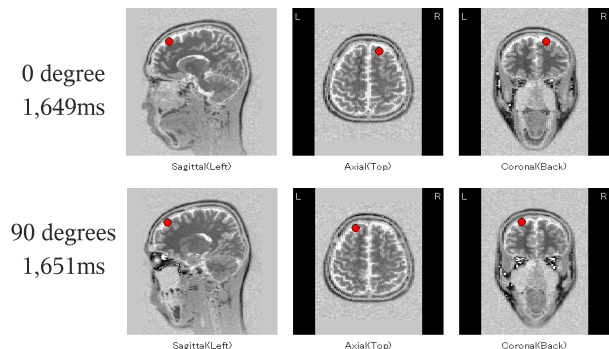


Fig. 8: Estimation in Superior Frontal Gyrus

実験 6 では，すべての条件で，視覚刺激の変化に伴った視覚誘発電位の振幅の変化が見られた．前頭前野で推定された潜時に偏りが見られたものの，刺激線分の移動方位の変化に関して，空間認知活動の視覚誘発電位には変化は見られなかった．

最後に，実験 7 では，実験開始から終了までの時間的経過による脳波を計測して刺激線分の移動方位に対する脳内活動部位の変化の経路を推定した．その結果，推定される潜時 100ms ~ 400ms, 500ms ~ 700ms, 1,000ms ~ 1,300ms において，視覚誘発電位の振幅に変化がみられた．潜時 245ms における V4 での視覚誘発電位の変化を図 9 に示す．また，潜時 625ms (線分呈示後 285ms) における MT での視覚誘発電位の変化を図 10 に示す．

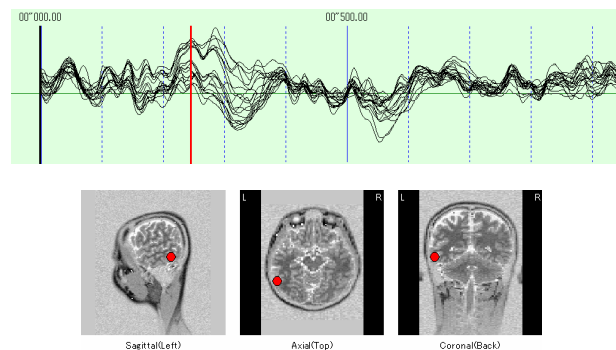


Fig. 9: Amplitude Change of VEP and Estimation in V4

一般に，眼球から入力された視覚刺激は，網膜 視神経交叉 外側膝状体 第一次視覚野の経路を経て，側頭葉から前頭前野に至る形状認識の腹側経路および頭頂葉から前頭前野に至る動き認識の背側経路とに分割して処理される．これらの知見と実験 7 の結果から，次のような腹側経路と背側経路が確認された (図 11 と図 12 を参照) ．

腹側経路： V1(133ms) V2(171ms) V4(245ms)
TEO 野 (306ms) TE 野 (357ms)

背側経路： V1(576ms) V2(611ms) MT(625ms)
後頭頂葉皮質 (711ms)

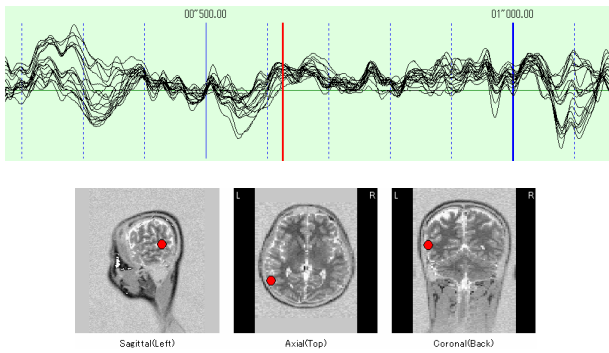


Fig. 10: Amplitude Change of VEP and Estimation in MT

なお、実験 7 では、実験開始後 0ms で円が呈示され、340ms で基本線分が呈示される。したがって、潜時 0ms 以後で観察される腹側経路での脳活動は呈示されている円に対する視覚誘発電位と考えられ、潜時 340ms 以後で観察される背側経路での脳活動は基本線分の動きに対する視覚誘発電位と考えられる。

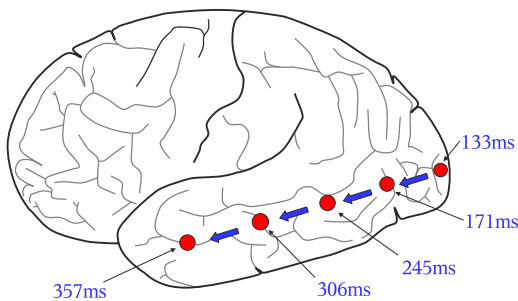


Fig. 11: Ventral Visual Pathway

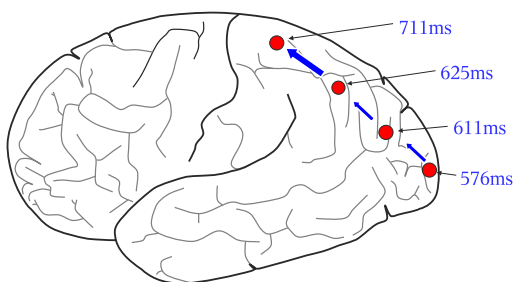


Fig. 12: Dorsal Visual Pathway

これらの結果から、円の呈示では、腹側経路での脳活動が観測された潜時と脳波の振幅に変化が現れた潜時とが一致した。また、基本線分呈示では、背側経路での脳活動が観測された潜時と脳波の振幅に変化が現れた潜時とが一致した。円呈示では、脳活動は形状認識に対する反応として腹側経路に検出され、基本線分呈示では、脳活動は動き認識に対する反応として背側経路に検出されたと推定される。

一方、刺激線分の呈示では、刺激線分の移動方位が水平と垂直である場合、右下前頭回 (1,165ms ~ 1,172ms) と左中前頭回 (1,235ms ~ 1,252ms) で共通の潜時に脳活

動が観測された。しかし、斜め方位では、脳活動は観測されなかった。左中前頭回は空間認知の一時記憶の領野であり、右下前頭回は動き変化の一時記憶の領野であるので、前頭連合野におけるこれらの部位は錯視に大きく関与していると考えられる。

5. おわりに

ここでは、Aperture 実験における知覚認識率の線分速度に対する依存性について議論し、視覚誘発電位の振幅変化から知覚の脳内活動部位を推定した。今後、さらに多くの被験者で実験を行い、確実性を高めるとともに、異なる形状の Aperture についても知覚認識率の依存性の確認と脳内活動部位の推定を行う必要がある。

なお、本研究は、文部科学省の科学研究費 (18500181) の助成および北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター研究プロジェクト「視覚・画像・音声・言語情報の高度化と知的計測制御技術への応用」の助成を得た。

参考文献

- [1] M.B.ben-av, and M.Shiffrar: Disambiguating Velocity estimates across image space, *Vision Research*, Vol.35, No.20, pp.2889-2895 (1995).
- [2] 仁科 繁明, 岡田 真人, 川人 光男: 輪郭運動方向の計算における充填過程と大局的バインディング, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会予稿集, NO.NC98-65 (1998)
- [3] 親泊 元太郎, 林 勲: Aperture 問題における輪郭運動方位と速度に対する知覚について, 第 18 回ファジィシステムシンポジウム講義論文集, pp.513-514 (2002)
- [4] I.Hayashi, and G.Shinpaku: Structuralization of early vision for perceptual grouping in Apertures, *Proc. of the International Workshop on Fuzzy Systems and Innovational Computing 2004 (FIC2004)*, pp.254-258 (2004).
- [5] 山ノ井 高洋, 豊島 恒, 山崎 敏正: 円の直線移動知覚に関する脳内処理部位の等価電流双極子推定, 第 21 回ファジィシステムシンポジウム講義論文集, pp.481-484 (2005)
- [6] T.Yamanoi, H.Toyoshima, and T.Yamazaki: Spatio-temporal dipole modeling of EEGs during perception of straight movements, *Proc. of 13th European Conference on Eye Movement*, pp.PA-178 (2005).
- [7] T.Yamazaki, K.Kamijo, A.Kenmochi, S.Fukuzumi, T.Kiyuna, Y.Takaki, and Y.Kuroiwa: Multiple Equivalent current dipole source localization of visual event-related potential during oddball paradigm with motor response, *Brain Topography*, Vol.12, No.3, pp.159-175 (2000).